

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-151786
(43)Date of publication of application : 24.05.2002

(51)Int.CI. H01S 5/065
H01S 5/343

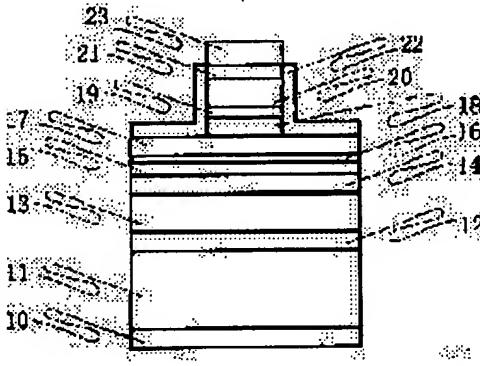
(21)Application number : 2000-343189 (71)Applicant : SHARP CORP
(22)Date of filing : 10.11.2000 (72)Inventor : ONO TOMOTERU
ITO SHIGETOSHI

(54) SEMICONDUCTOR LASER DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a semiconductor laser having characteristics for self-exciting appropriately from low output.

SOLUTION: The semiconductor laser device is provided, where the device has a lamination structure that includes an active layer 15 and layers 13, 14, 17, 18, and 20 having a higher band gap energy than the active layer and is mainly made of gallium-nitride-based semiconductor for laser oscillation. The device has a gallium-nitride-based semiconductor layer 19 containing at least one type that has nearly the same band gap as the active layer 15 and is selected from a group consisting of As, P, and Sb in layers 18 and 20 having a higher band gap energy than the active layer 15 at a position separated from an active layer 25.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

BEST AVAILABLE COPY

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2002-151786

(P2002-151786A)

(43)公開日 平成14年5月24日 (2002.5.24)

(51)Int.Cl.⁷
H 0 1 S 5/065
 5/343

識別記号

F I
H 0 1 S 5/065
 5/343

テマコード(参考)
5 F 0 7 3

審査請求 未請求 請求項の数10 O.L (全 12 頁)

(21)出願番号 特願2000-343189(P2000-343189)

(22)出願日 平成12年11月10日 (2000.11.10)

(71)出願人 000005049

シャープ株式会社
大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号

(72)発明者 大野 智輝

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ
ャープ株式会社内

(72)発明者 伊藤 茂穂

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ
ャープ株式会社内

(74)代理人 100064746

弁理士 深見 久郎

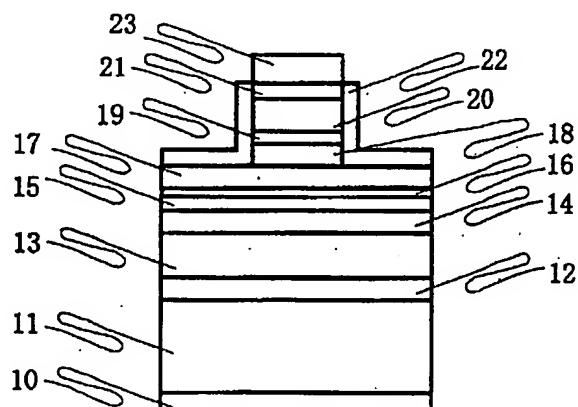
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 半導体レーザ素子

(57)【要約】

【課題】 低出力から良好に自励発振する特性を備えた半導体レーザを提供する。

【解決手段】 活性層15と活性層よりもバンドギャップエネルギーが高い層13、14、17、18、20などを含む、窒化ガリウム系半導体から主としてなる積層構造をレーザ発振のため有する半導体レーザ素子が提供される。該素子は、活性層25から離れた位置において、活性層15よりもバンドギャップエネルギーが高い層18、20中に、活性層15とほぼバンドギャップが等しく、かつAs、PおよびSbからなる群より選ばれる少なくとも一種の元素を含む窒化ガリウム系半導体層19を有する。



(2)

【特許請求の範囲】

【請求項1】 活性層と前記活性層よりもバンドギャップエネルギーが高い層とを含む、窒化ガリウム系半導体から主としてなる積層構造をレーザ発振のため有する半導体レーザ素子において、

前記活性層から離れた位置において、前記活性層よりもバンドギャップエネルギーが高い層中に、または、前記活性層よりもバンドギャップエネルギーが高い層に接して、前記活性層とほぼバンドギャップが等しく、かつA_s、PおよびS_bからなる群より選ばれる少なくとも一種の元素を含む窒化ガリウム系半導体層を有することを特徴とする、半導体レーザ素子。

【請求項2】 前記少なくとも一種の元素を含む窒化ガリウム系半導体層は、量子井戸構造を形成することを特徴とする、請求項1に記載の半導体レーザ素子。

【請求項3】 前記少なくとも一種の元素を含む窒化ガリウム系半導体層は、可飽和吸収効果による自励発振をもたらすものであることを特徴とする、請求項1または2に記載の半導体レーザ素子。

【請求項4】 前記活性層よりもバンドギャップエネルギーが高い層は、クラッド層または光ガイド層である、請求項1～3のいずれか1項に記載の半導体レーザ素子。

【請求項5】 前記少なくとも一種の元素を含む窒化ガリウム系半導体層は、式A_{1-x}I_yG_{1-x-y}N_{1-p-q-r}A_{s-p}P_qS_{b-r}(0≤x、0≤y、x+y<1、0≤p、0≤q、0≤r、0.001≤p+q+r≤0.

5)で表される窒化ガリウム系半導体からなることを特徴とする、請求項1～4のいずれか1項に記載の半導体レーザ素子。

【請求項6】 前記式において、q+r=0かつ0.05≤pであることを特徴とする、請求項5に記載の半導体レーザ素子。

【請求項7】 前記式において、p+r=0かつ0.06≤qであることを特徴とする、請求項5に記載の半導体レーザ素子。

【請求項8】 前記少なくとも一種の元素を含む窒化ガリウム系半導体層を覆うAlGaNからなる層をさらに備えることを特徴とする、請求項1～7のいずれか1項に記載の半導体レーザ素子。

【請求項9】 前記積層構造は、GaNからなる基板上に形成されていることを特徴とする、請求項1～8のいずれか1項に記載の半導体レーザ素子。

【請求項10】 前記少なくとも一種の元素を含む窒化ガリウム系半導体層は、前記活性層よりもバンドギャップエネルギーが高い層に比べて結晶性が低い層であることを特徴とする、請求項1～9に記載の半導体レーザ素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

2

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体レーザ素子に関し、特に、自励発振を伴う低雑音の半導体レーザに関する。

【0002】

【従来の技術】次世代の光ディスク用光源には、集光径を小さくでき、より高密度化が可能な400nm前後の波長が用いられるだろう。コスト削減のためレンズ、光ディスクなどに用いられる安価なプラスチック系材料において、吸収端は～390nm程度に存在する。したがって、光源の波長を400nmより短くすることは、上記材質の検討が必要になり、量産に適していないと考えられる。

【0003】このような短波長光源には半導体レーザが適している。半導体レーザの代表的な材質は、窒化ガリウム化合物半導体である。たとえば特開平10-294532号公報は、窒化ガリウムを使用した図11に示すような構造の光ディスク用半導体レーザを開示している。図11において、サファイア基板70上には、n型GaNバッファー層71、n型GaNコンタクト層72、n型AlGaNクラッド層73、n型InGaN/GaN多重量子井戸隣接層74、InGaN/GaN多重量子井戸活性層75、p型GaN隣接層76、p型AlGaNクラッド層77、p型GaNコンタクト層78、およびn型GaN通電障壁層79が素子構造として形成されている。さらに、p型GaNコンタクト層78上にp側電極80が形成され、n型GaNコンタクト層72上にn側電極81が形成されている。この半導体レーザでは、隣接層74においてIn濃度が高い島状の領域を自励発振のための可飽和吸収領域としている。

【0004】また特開平9-191160号公報は、InGaN可飽和吸収層を有する半導体レーザを開示する。その構造は図12に示すとおりである。図12において、n型SiC基板60上には、n型AlN層61、n型AlGaNクラッド層62、n型GaN光ガイド層63、InGaN量子井戸活性層64、p型GaN光ガイド層65、p型AlGaNクラッド層66、およびp型GaNコンタクト層67が順次形成されている。またp型GaN光ガイド層65中にはInGaN可飽和吸収層68が設けられている。さらに、基板60の裏面にはn型電極59が形成され、p型コンタクト層67上にはp型電極が形成されている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】従来、可飽和吸収のため使用してきたInGaNから構成されるバンド構造は、ヘビーホールの有効質量が重いため、価電子帶上部の状態密度が大きく活性層からの発光を吸収しても飽和が起きにくい。したがって、特開平9-191160号公報のようにInGaNを構成元素とした可飽和吸収層を有する半導体レーザでは、低出力からの可飽和効果が起きにくいため、自励発振動作を維持するためにはある

(3)

3

程度の出力を出さなければならず、光ディスク用光源として用いる際に消費電力および寿命に問題があった。

【0006】かくして本発明は、低出力から良好に自励発振する特性を備えた半導体レーザを提供することを目的としている。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明者らは、構成元素を改善した窒化物系半導体層を導入することで上記問題を解決することを検討した。その結果、As、PおよびSbからなる群より選ばれる少なくとも一種の元素を含む窒化ガリウム系半導体層を可飽和吸収機能のため使用することにより、低出力で自励発振できる半導体レーザ素子が得られることを見出し本発明に至った。

【0008】すなわち、本発明により、活性層と活性層よりもバンドギャップエネルギーが高い層とを含む、窒化ガリウム系半導体から主としてなる積層構造をレーザ発振のため有する半導体レーザ素子が提供され、該素子は、活性層から離れた位置において、活性層よりもバンドギャップエネルギーが高い層中に、または、活性層よりもバンドギャップエネルギーが高い層に接して、活性層とほぼバンドギャップが等しく、かつAs、PおよびSbからなる群より選ばれる少なくとも一種の元素を含む窒化ガリウム系半導体層を有することを特徴とする。

【0009】窒化ガリウム系半導体には、たとえば、GaN、Al_xGa_{1-x}N (0 < x < 1)、In_xGa_{1-x}N (0 < x < 1)、In_xGa_yAl_{1-x-y}N (0 < x < 1, 0 < y < 1)、Al_xIn_yGa_{1-x-y}N_{1-p-q-r}As_pP_qS_br (0 ≤ x, 0 ≤ y, x + y < 1, 0 ≤ p, 0 ≤ q, 0 ≤ r) 等がある。本発明による半導体レーザ素子の積層構造は、このような窒化ガリウム系半導体から主としてなるが、必要に応じて、他の半導体、たとえば、AlN、InN、InAlN等の他のIII-V系化合物半導体、特にIII-N系化合物半導体を使用することができる。

【0010】本発明において、上記少なくとも一種の元素を含む窒化ガリウム系半導体層は、量子井戸構造を形成することが好ましい。典型的に、本発明において、上記少なくとも一種の元素を含む窒化ガリウム系半導体層は、可飽和吸収効果による自励発振をもたらすものである。また、本発明において、活性層よりもバンドギャップエネルギーが高い層は、クラッド層または光ガイド層とができる。

【0011】典型的に本発明において、上記少なくとも一種の元素を含む窒化ガリウム系半導体層は、式Al_xIn_yGa_{1-x-y}N_{1-p-q-r}As_pP_qS_br (0 ≤ x, 0 ≤ y, x + y < 1, 0 ≤ p, 0 ≤ q, 0 ≤ r, 0.001 ≤ p + q + r ≤ 0.5) で表される窒化ガリウム系半導体からなる。上記式において、q + r = 0かつ0.005 ≤ p であることが好ましい。これにより、可飽和吸収層に用いるのに十分な結晶性が得られるという効果がも

4

たらされる。あるいは上記式において、p + r = 0かつ0.006 ≤ q であることが好ましい。これにより、可飽和吸収層に用いるのに十分な結晶性が得られるという効果がもたらされる。

【0012】本発明による素子は、上記少なくとも一種の元素を含む窒化ガリウム系半導体層を覆うAlGaNからなる層をさらに備えることが好ましい。また、本発明において積層構造は、GaNからなる基板上に形成されていることが好ましい。

【0013】さらに、本発明において、上記少なくとも一種の元素を含む窒化ガリウム系半導体層は、活性層よりもバンドギャップエネルギーが高い層に比べて結晶性が低い層とすることができる。一般に、上記少なくとも一種の元素を含む窒化ガリウム系半導体層は、活性層よりもバンドギャップエネルギーが高い層の成長温度に比べてより低い温度で成長させることができ。

【0014】上記少なくとも一種の元素を含む窒化ガリウム系半導体層は、たとえば0.1nm～50nmの厚みを有し、好ましくは0.5nm～20nmの厚みを有する。

【0015】GaNAs、GaNP、GaNNb、GaNAsPなど、As、PおよびSbからなる群より選ばれる少なくとも一種の元素を含む窒化ガリウム系半導体（以下、GaN (As, P, Sb) とする）のヘビーホールの有効質量は、InGaNより軽い。したがって、GaN (As, P, Sb) から構成されるバンド構造では、バンド端近辺での価電子帯の状態密度は小さくなる。すなわち、実質的なバンドギャップよりわずかにエネルギーの高い光を吸収する時、ヘビーホールの飽和は

GaN (As, P, Sb) の方がInGaNに比べて起きやすい。したがって、可飽和吸収に作用する窒化物系半導体層にGaN (As, P, Sb) を構成要素として用いると、低出力から自励発振する半導体レーザ素子を得ることができる。

【0016】このようなレーザの主な用途として低消費電力の光ディスクシステムが挙げられる。低消費電力を特徴とする光ディスクシステムにとって量子効率の高い半導体レーザおよび光電子変換素子と共に低出力から自励発振する半導体レーザが必要不可欠である。

【0017】また、窒化物系半導体層を適当な構造、配置、数にする事で高出力まで自励発振を維持する半導体レーザ素子を得ることができる。高出力まで自励発振する事で光ディスクシステムにおいて録画や録音などの情報の書き込みを安定して行なうことが可能になる。

【0018】

【発明の実施の形態】実施の形態1

図1は、実施の形態1における半導体レーザ装置の模式図である。図1において、GaN基板11の裏面にはn電極10が形成され、GaN基板11の表面には、n-AlGaNバッファ層12、n-AlGaNクラッド層1

(4)

5

3、n-GaNガイド層14、GaNAs活性層15、AlGaN蒸発防止層16、p-GaNガイド層17、p-AlGaNクラッド層18、窒化物系半導体層19、p-AlGaNクラッド層20、p-GaNコンタクト層21、絶縁膜22、およびp電極23が形成されている。また図1に示すとおり、p電極側はリッジ構造になっており、電流狭窄により活性層への電流注入分布を制御している。

【0019】窒化物系半導体層19の詳細は図2により説明する。図2は窒化物系半導体層19の伝導体のエネルギー構造を示す模式図である。図2において、基板1側からp-AlGaNクラッド層18、p-GaN光ガイド層24、p-GaNAs単一量子井戸層25、およびp-AlGaNクラッド層20のバンドギャップエネルギーが示されている。窒化物系半導体層19は、p-GaN光ガイド層24とp-GaNAs単一量子井戸25とによって構成される。このような窒化物系半導体層19の実質的なバンドギャップは活性層とほぼ等しい程度に小さく、さらに光ガイド層24による活性層からの発光の効率的な閉じ込めによって、吸収が起こりやすい構造になっている。以下に図1を参照しつつ実施の形態1における半導体レーザ装置の製造方法を説明する。

【0020】本発明による半導体レーザ素子の構造は、典型的にエピタキシャル成長法により形成される。このエピタキシャル成長法は、基板上に結晶膜を成長させる方法であって、VPE（気相エピタキシャル）法、CVD（化学気相デポジション）法、MOVPE（有機金属気相エピタキシャル）法、MOCVD（有機金属化学気相デポジション）法、Haldene-VPE（ハロゲン化学気相エピタキシャル）法、MBE（分子線エピタキシャル）法、MOMBE（有機金属分子線エピタキシャル）法、GSMBE（ガス原料分子線エピタキシャル）法、CBE（化学ビームエピタキシャル）法を含む。

【0021】まず以下のようにしてGaN基板11を調製した。図10に示すような周期的な開口を持つSiO₂膜901が表面に形成されたサファイア基体900（径5.08cm（2インチ）、厚み350μm程度）をエピタキシャル成長装置内に設置した後、サファイア基体900をH₂フロー中、約1100℃の温度で熱クリーニングした。続いて、このエピタキシャル成長装置の別の部分にて約700℃に保持されたGaNにGaN原料輸送担体としてのHClガス（100cc/分）およびキャリアガスとしてのH₂（1000cc/分）を供給して得られるGaN含有ガス、NH₃（2000cc/分）のN原料ガス、SiH₄のn型不純物原料ガス、ならびにH₂（10000cc/分）のキャリアガスからなる混合ガスを、1050℃に保持されたサファイア基体900上に供給してGaN単結晶膜の成長を3時間行った。得られたGaN単結晶膜は、厚さ500μm程度であった。なお、本工程において、サファイア基体900

6

上に、周期的な開口を持つSiO₂膜901を設けたのは、約500μm程度というような比較的の厚いGaN単結晶膜をサファイア基体上に成長しても、厚膜内にクラックが入らないようにするためにある。また、本工程において成長と同時にSiが添加されたので、n導電型であるGaN単結晶膜が得られた。なお、公知のエピタキシャル成長法のごとく、本工程において、あらかじめ、サファイア基体900とSiO₂膜901との間にGaNエピタキシャル成長層を設けてもよい。この方法によれば、製造行程は繁雑になるものの、より高品質のGaN単結晶膜を得ることができる。

【0022】次に、GaN単結晶膜の表面を数10μm程度ラッピングし、結晶成長工程により生じたGaN単結晶膜の厚み不均一を解消した。そして、粒度#400程度のダイヤモンドを電着した砥石を装着した研削盤を用いてサファイア基板を削り、サファイア基体を厚み100μm程度まで薄くした。その後、粒径15μm程度のダイヤモンドスラリーを用いて、サファイア基体を完全にラッピング除去し、ひき続いて、順次粒径を細かくしながら、最終的に粒径1/2μm程度にまで落として、GaN単結晶膜を削っていった。GaN単結晶膜を50μm以上、望ましくは100μm以上削りこむことにより、機械加工歪みがほぼ除去され、また、結晶成長初期時の結晶欠陥の多い領域を取り除くことができる。それから、さらに粒径の細かいダイヤモンドスラリーを用いたボリシング加工により、スクラッチ傷を除き、表面を鏡面にした。

【0023】その後、加工にともなう欠陥を取り除くために、アルカリ性SiO₂スラリーを用いたCMP（化学機械ボリシング）を適用し、これによりÅオーダーで平坦化された結晶成長用の面を得た。これに変えて、KOH溶液を用いたCMPによっても良好な結果が得られ、また、両方のCMP工程を順次適用しても、良好な結果が得られた。こうして、n-GaN基板902（2インチ、厚さ約400μm）が得られた。

【0024】次に各窒化ガリウム半導体層をGaN基板902上にエピタキシャル成長させた。その工程は以下のとおりである。まず、MOCVD装置にGaN基板902をセットし、V族原料のNH₃とIII族原料のトリメチルガリウム(TMGA)を用いて、550℃の成長温度で低温GaNバッファ層を25nmの厚みで成長させる。次に、1050℃の成長温度で前記原料にSiH₄を加えn-GaN層12（Si不純物濃度1×10¹⁸/cm³）を3μmの厚みで形成する。続いて成長温度を700℃から800℃程度に下げ、III族原料であるトリメチルインジウム(TMI_n)の供給を行い、n-In_{0.07}Ga_{0.93}Nクラック防止層を40nmの厚みで成長させる。再び基板温度を1050℃に上げ、III族原料であるトリメチルアルミニウム(TMAI)を用いて、0.8μm厚のn-Al_{0.1}Ga_{0.9}Nクラック

(5)

7

ド層13(Si不純物濃度 $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$)を成長させ、続いてn-GaNガイド層14を0.1μmの厚みで成長させる。その後、基板温度を800℃に下げ、3周期の厚さ4nmのGaN_{0.98}Al_{0.02}井戸層と厚さ6nmのIn_{0.05}GaN_{0.95}障壁層より構成される発光層(多重量子井戸構造)15を障壁層/井戸層/障壁層/井戸層/障壁層/井戸層/障壁層の順序で成長させた。障壁層と井戸層、または井戸層と障壁層との間に1秒以上180秒以内の成長中断を行っても良い。このことにより各層の平坦性が向上し発光半値幅が減少する。

【0025】次に基板温度を再び1050℃まで昇温して、厚み20nmのp-Al_{0.2}GaN_{0.8}Nバリア層16、0.1μmのp-GaNガイド層17、0.3μmのp-Al_{0.1}GaN_{0.9}クラッド層18を成長させる。p型不純物としてMgを $5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ~ $2 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ で添加した。

【0026】その後基板温度を800℃程度に下げ、p-GaN光ガイド層24を10nmの厚みで成長させ、続いてp-GaNAs単一量子井戸層25を2nmの厚みで成長させた。単一量子井戸層25の組成は、GaN_{0.97}Al_{0.03}程度であった。これらの層24および25からなる窒化物系半導体層19は、キャリア寿命を短くするためp型不純物としてMgを添加すると共に、前記温度で低温成長させることによって結晶性を適度に悪くしている。

【0027】再び基板温度を1050℃に昇温し厚さ0.2μmのp-Al_{0.1}GaN_{0.9}クラッド層20と厚さ0.1μmのp-GaNコンタクト層21を成長させる。

【0028】上記のように各層を構成する元素およびドープ元素の各原料には、TMGa、TMAI、TMIn、NH₃、AsH₃、ビスシクロペンタジエニルマグネシウム(Cp₂Mg)、SiH₄を用いている。活性層15、および窒化物系半導体層19における単一量子井戸層25の形成には、As混入量が1~8原子%になるように成長温度、ガス圧などを調整した。ウェハーの蛍光ミネッセンスPL測定より活性層からのPL発光ピーク波長と窒化物系半導体層19からのPL発光ピーク波長との差が±20nm(±0.15eV)以内となるようにして、これらの実質的なバンドギャップがほぼ等しくなるように調整する。

【0029】p-GaNコンタクト層21形成後、ドライエッティングによりリッジ構造を形成し、絶縁膜22上面にPd/Auからなるp電極23を形成する。その後、GaN基板の裏面側から研磨もしくはエッティングにより基板の一部を除去しウェハーの厚みを100~150μm程度までに薄く調整する。これは後の工程でウェハーを分割し個々のレーザチップにするのを容易にするための工程である。特にレーザ端面ミラーも分割時に形成する場合には、基板の厚みを80~120μm程度に

8

薄く調整することが望ましい。本実施の形態においては、研削機および研磨機を用いてウェハーの厚みを100μmに調整した。なお、研磨機のみでもよい。ウェハーの裏面は研磨機により磨かれているため平らである。

【0030】研磨後GaN基板11裏面に薄い金属膜を蒸着し、n電極10を得た。n電極10はHf/AI/Mo/Auの層構造よりなる。このような薄い金属膜を膜厚の制御性よく形成するには真空蒸着法が適しており、本実施の形態においてもこの手法を用いた。ただし、イオンプレーティング法やスパッタ法等の他の手法を用いてもよいことは言うまでもない。pおよびn電極特性向上のため金属膜形成後500℃でアニールを行い、良好なオーム接続を得ている。

【0031】上記により制作された半導体素子は下記の方法で分割した。まず裏面からダイヤモンドポイントでスライプラインを入れ、ウェハーに適宜力を入れ、スライプラインに沿ってウェハーを分割した。他の手法として、ワイヤソーもしくは薄板ブレードを用いて傷入れもしくは切断を行なうダイシング法、エキシマレーザ等のレーザ光の照射加熱とその後の急冷により照射部にクラックを生じさせこれをスライプラインとするレーザスライシング法、高エネルギー密度のレーザ光を照射し、この部分を蒸発させて溝入れ加工を行なうレーザアブレーション法等を用いても同様にチップ分割可能であった。

【0032】さらに半導体レーザ素子の2つの端面に50%以下の反射率を有する反射膜と90%以上の反射率を有する反射膜を形成し、非対称コーティングをすることで、30mW以上の高出力動作させた場合でも安定した基本横モードが得られるようした。次にダイボンディング法により、レーザチップをヒートシンク上にマウントし半導体レーザ装置を得た。ここでいうヒートシンクはシステム等のことである。

【0033】このようにして製作された半導体レーザ装置の諸特性を評価した。直流電流を通電したところ閾値30mAでレーザ発振を開始した。スペクトルアナライザーで発振波長を観測したところ405nm±10nmであった。次に、得られた半導体レーザ素子を光ディスク用光源に用いた際の戻り光に対する雑音特性を調べた。連続発振しているレーザは戻り光との干渉により出力が不安定になることが知られている。したがって、レーザ素子が低雑音特性を有するためには特定の周期で自励発振しているとよい。まず光出力を5mWにし、戻り光が0.1%~10%であるときの雑音を調べたところ-127dB/Hz以下であることが分かった。次に低出力での雑音特性を調べるために光出力を1mW程度にしたところ、同様に雑音は-130dB/Hz以下であった。したがって、本発明による半導体レーザ素子は低消費電力光ディスクシステムへの応用に適していることがわかった。

(6)

9

【0034】比較のために、上述の構造のうち窒化物系半導体層19のみInGaN層にかえた半導体レーザを作製し、その特性を調べた。その結果、光出力5mWにしたときの雑音は-125dB/Hz以下であったが、低出力1mWでの雑音を調べたところ110dB以上になり、光ディスクシステムへの応用に適していないことがわかった。

【0035】窒化物系半導体層19にGaNAsを用いる事によって前述のように良好な半導体レーザが得られたのは以下の理由による。GaNAsはそのヘビーホールの有効質量が軽く、特にInGaNに対しては十分軽い。ヘビーホールが軽いと、GaNAsを構成要素とした半導体のバンド構造における荷電子帯の上端はきつい曲率を持つことになり、たとえばバンドギャップよりわずかにエネルギーの大きいフォトンを吸収するような荷電子帯の状態密度は小さくなる。つまり多数のフォトンに対しては可飽和状態になりやすい。したがって、半導体レーザの窒化物系半導体層にGaNAsを用いることで、光出力が小さいところから可飽和吸収が起こり自励発振特性を有することができる。

【0036】可飽和吸収の起きる光出力は、窒化物系半導体層の層厚や配置位置によって制御できる。一方、もともと可飽和特性が優っていない物質では体積を小さくしなければならないため、光吸収量自体の減少も引き起こしてしまう。その結果として良好な可飽和特性が得られにくい。

【0037】前述による自励発振特性の他にも実施の形態1の半導体レーザは閾値特性など良好な特性を示す。一方、従来のように、クラッド層内にバンドギャップの大きく異なるInGaNからなる層を形成すると、クラッド層との格子不整合から格子欠陥が増える。特にp-クラッド層の結晶性の悪化は、Mgドーピングの効果が保証されてしまい高抵抗になったり、格子欠陥による電流注入の不均一、横モードの悪化などがおきる事がある。しかし、窒化物系半導体層19にGaNAsからなる層を形成すると、微量のAsで大きくボーイングするため格子不整合が小さくても十分バンドギャップを小さくする事ができる。ここでGaNAsからなる層のバンドギャップ幅は、活性層と同等あるいはわずかに小さいものとすることが好ましい。以上の効果から本発明による実施の形態1のクラッド層は良好な結晶性が保たれており均一な電流注入、良好な横モード特性を得ることができた。

【0038】また図1に示す実施の形態1の窒化物半導体レーザ素子構造は、GaN基板上形成されている。GaN基板上に成長した窒化物系半導体層は、劈開面が基板と一致しているため、前述の分割プロセスにおいて良好な劈開面を形成する事が可能である。良好な端面を持つことにより、実施の形態1の半導体レーザ素子の端面反射は設計通りの効果があり、安定して自励発振させる

10

ことが出来た。また歩留まりの高い低雑音窒化物半導体レーザを提供する事ができる。

【0039】次に窒化物系半導体層19のGaNAsの代わりにInGaNAsを用いて、Asの混合量の変化に対する自励発振特性を調べた。GaNにIn、Asを微量に混合するとバンドギャップ縮小に作用する。前述のように良好な可飽和吸収のためにはAsを混合する事が望ましく、その混合量を調べた。図13に示す結果からわかる様に、Asが0.5原子%以上含まれると、低出力から自励発振する半導体レーザ装置が得られた。

【0040】次にリッジの深さの検討を行ったが、FFPなどに多少の変化が観測されたものの自励発振特性には悪影響は見られなかった。リッジ底部は、p-GaNガイド層～窒化物系半導体層の間であればよい。

【0041】図1に示す構造のうち、窒化物系半導体層19(可飽和吸収のための層)上下のp-AlGaNクラッド層はどちらか一方だけでもよく、また両者の組成が違っていてもよい。さらに、可飽和吸収のための層は、p-AlGaNクラッド層の代わりにn-AlGaNクラッド層内に形成してもよい。可飽和吸収のための層の上下に存在するn-AlGaNクラッド層の組成は同じでも異なっていてもよい。さらに、可飽和吸収のための層の上側(活性層側)または下側(基板側)のいずれかのみにn-AlGaNクラッド層が設けられていてもよい。さらに、可飽和吸収のための層は、p-またはn-GaNガイド層内に形成されてもよい。p-またはn-GaNガイド層内に設けられた可飽和吸収のための層の上下に存在するガイド層の組成は、同じでも異なっていてもよい。一方、可飽和吸収のための層は、p-またはn-GaNガイド層の上側または下側のみに、当該ガイド層に接するよう形成してもよい。

【0042】さらに、実施の形態1の活性層をInGaN、InGaNAs、InGaNAsPに変えたところ、そのバンドギャップがGaNAsとほぼ等しくなければ可飽和吸収特性に変化は見られず良好な自励発振が得られた。

【0043】窒化物系半導体層19の構造は、図3に示すような光ガイド層を持たない単一量子井戸、図4に示すような光ガイド層を持つ多重量子井戸、光ガイド層を持たない多重量子井戸、光ガイド層を持つ歪み多重量子井戸、あるいは光ガイド層を持たない歪み多重量子井戸であってもよい。これらの構造でも、ほぼ同様な効果が期待でき、実験の結果、発振閾値30～50mA、低出力からの自励発振が確認された。

【0044】図3は、別の構造を有する窒化物系半導体層19の伝導体エネルギー構造を示す模式図であり、基板11側からp-AlGaNクラッド層18、p-GaNAs単一量子井戸26、およびp-AlGaNクラッド層20のバンドギャップエネルギーを示している。図50示されるように窒化物系半導体層19はp-GaNAs

(7)

11

単一量子井戸26によって構成される。

【0045】図4は、さらに別の構造を有する窒化物系半導体層19の伝導体エネルギー構造を示す模式図であり、GaN基板11側からp-AlGaNクラッド層18、p-GaN光ガイド層27、p-GaNAs多重量子井戸28、p-AlGaNクラッド層20のバンドギャップエネルギーを示している。図示されるように窒化物系半導体層19は、p-GaN光ガイド層27およびp-GaNAs多重量子井戸28によって構成される。

【0046】実施の形態2

図5に示す実施の形態2の半導体レーザ素子は、可飽和吸収のための窒化物系半導体層19がAlGaNからなる保護層29で覆われる構造を有する。他の構造は、実施の形態1と同様である。図5を参照すると、GaN基板11の裏面にはn電極10が形成され、GaN基板11上には、n-GaNバッファ層12、n-AlGaNクラッド層13、n-GaNガイド層14、GaNAs活性層15、AlGaN蒸発防止層16、p-GaNガイド層17、p-AlGaNクラッド層18、窒化物系半導体層19、AlGaN保護層29、p-AlGaNクラッド層20、p-GaNコンタクト層21、絶縁膜22、およびp電極23が形成されている。

【0047】エピタキシャル成長過程においてp-AlGaNクラッド層は高温で成長させる。したがって、As、P等を制御よく微量加えた薄い可飽和吸収層の特性*

12

*を変えることなく、可飽和吸収層上にクラッド層を成長させることは時として困難になる。そこで、可飽和吸収のための窒化物系半導体層19を形成した後、その上にAlGaNからなる保護層29を形成し、保護層29上にp-AlGaNクラッド層20を形成した。保護層29は、クラッド層成長の場合よりも低温で成長させた。保護層29は、クラッド層の形成時にAs、PまたはSbの揮発成分の散逸を防ぎ、窒化物系半導体層19の組成および特性が変化するのを防ぐことができる。

【0048】実施の形態2の半導体レーザの製作プロセスは保護層29を低温成長させる以外は実施の形態1と同様である。このようにして得られた半導体レーザを評価し、以下の結果が得られた。自励発振を行える光出力の実際値と設計値との誤差およびばらつきを比較したものが表1である。表1によれば、特にばらつきが減少しているのがわかる。保護層を設けることで制御性よく自励発振を行える半導体レーザ装置を提供することができ、さらに、半導体レーザ素子を光ディスクシステム用光源として用いる際の歩留まりを向上させることができる。なお発振閾値、FFPなどの半導体レーザにおける一般的な諸特性は実施の形態1とほぼ同じであった。

【0049】

【表1】

	保護層あり	保護層なし
PL波長の設計値からのずれ	±4nm	±10nm
自励発振開始出力のずれ(5mW時)	±1mW	±1.5mW
歩留まり(保護層無し基準)	1.8	1

【0050】実施の形態3

実施の形態3は、実施の形態1または2における窒化物系半導体層19のGaNAsをGaNPに変えた半導体レーザ装置である。その製造プロセスは実施の形態1における原料としてAsH₃の代わりにPH₃を用いる以外は同様である。本プロセスにおいてV族元素であるPの混入量は1~12原子%に調整されている。得られた半導体レーザ装置の特性評価を行った。発振閾値は34mAであり、発振波長は400nm±10nmに制御できている。光出力5mW、戻り光量0.1%~10%の時の相対雑音強度は-126dB/Hz以下であった。また実施の形態2にしたがって保護層を導入したところ同様に歩留まりの向上が確認された。

【0051】次に、実施の形態1または2における窒化物系半導体層19のGaNAsをInGaNPに変えて自励発振特性を評価したところ、Pが0.6原子%以上含まれていると良好な自励発振が起きることが分かった。

【0052】また実施の形態3の活性層をInGaN、InGaNAs、InGaNAsPに変えたところ、そ

のバンドギャップがGaNPとほぼ等しくなれば可飽和吸収特性に変化は見られず良好な自励発振が得られた。

【0053】実施の形態4

図6は本実施の形態における半導体レーザ装置を示す模式図である。図6において、GaN基板111の裏面にはn電極110が設けられている。GaN基板111の表面には、n-GaNバッファ層112、n-AlGaNクラッド層113、n-GaNガイド層114、InGaNAsP活性層115、AlGaN蒸発防止層116、p-GaNガイド層117、第1の窒化物系半導体層118、p-GaNガイド層119、p-AlGaNクラッド層120、第2の窒化物系半導体層121、p-AlGaNクラッド層122、p-GaNコンタクト層123、絶縁膜124、およびp電極125が設けられている。なお、図6に示すようにp電極側はリッジ構造になっており、電流狭窄により活性層への電流注入分布を制御している。第1の窒化物系半導体層118および第2の窒化物系半導体層121の詳細は図2に示すとおりであり、バンドギャップエネルギーの分布は実施の形態1と同様である。第1の窒化物系半導体層118お

(8)

13

より第2の窒化物系半導体層121はそれぞれ、GaN基板側から、p-GaN光ガイド層24およびp-InGaNAsP単一量子井戸25によって構成される。第1の窒化物系半導体層118および第2の窒化物系半導体層121の実質的なバンドギャップは活性層とほぼ等しい程度に小さく、光ガイド層24による活性層からの発光の効率的な閉じ込めによって、吸収が起こりやすくなっている。

【0054】本実施の形態における半導体レーザ装置の製造方法は、実施の形態1とほぼ同様である。得られた半導体レーザを評価した結果は以下のとおりである。直流電流を通電したところ閾値35mAでレーザ発振を開始した。スペクトルアナライザーで発振波長を観測したところ $405\text{nm}\pm10\text{nm}$ であった。次に光ディスク用光源に用いた際の戻り光に対する雑音特性を調べた。連続発振しているレーザは戻り光との干渉により出力が不安定になることが知られており、低雑音特性を有するためにには特定の周期で自励発振をしているとよい。まず光出力を5mWにし、戻り光0.1%~10%の時の雑音を調べたところ $-130\text{dB}/\text{Hz}$ 以下であることが分かった。次に低出力での雑音特性を調べるために光出力を1mW程度にしたところ同様に $-130\text{dB}/\text{Hz}$ 以下であり、低消費電力光ディスクシステムの応用に適していることがわかった。次に高出力での雑音特性を調べるために光出力を30mW程度にしたところ同様に $-128\text{dB}/\text{Hz}$ 以下であり、光ディスクシステムにおいて録画、録音といった情報の書き込み用として十分使えた。

【0055】低出力時における半導体レーザ内の光は、第1の窒化物系半導体層118の位置においてより多く分布し、InGaNAsPの可飽和吸収しやすい特性のため、第1の窒化物系半導体層118の可飽和吸収効果により自励発振を開始する。一方、高出力になると注入キャリアの影響によって半導体レーザ内のキャリア分布が変化し、第2の窒化物系半導体層121の位置での光分布も大きくなる。この場合、第1および第2の両方の窒化物系半導体層の可飽和吸収効果によって自励発振が生じる。このように低出力から高出力まで自励発振する半導体レーザ装置が得られた。

【0056】なお窒化物系半導体層はn-GaN光ガイド層およびn-InGaNAsP単一量子井戸からなってよい。この場合、1つの窒化物系半導体層がn層(たとえばn-クラッド層またはn-ガイド層)内またはn層(たとえばn-クラッド層またはn-ガイド層)に接するよう設けられてもよいし、2つの窒化物系半導体層が同様に設けられてもよい。n層側に可飽和吸収のための層を設けても上記と同様の効果を得ることができる。上記構造はさらに、実施の形態2と同様、可飽和吸収のための層を覆う保護層を有してもよい。保護層を用いることで歩留まりが向上した。

14

【0057】実施の形態5

図7は本実施の形態における半導体レーザ装置を示す模式図である。図7において、GaN基板211の裏面にはn電極210が形成され、GaN基板211の表面には、n-GaNバッファ層212、n-AlGaNクラッド層213、第1の窒化物系半導体層214、n-AlGaNクラッド層215、n-GaNガイド層216、InGaNAsP活性層217、AlGaN蒸発防止層218、p-GaNガイド層219、p-AlGaNクラッド層220、第2の窒化物系半導体層221、p-AlGaNクラッド層222、p-GaNコンタクト層223、絶縁膜224、およびp電極225が形成されている。また図7に示すようにp電極側は電極ストライプ構造になっており、電流狭窄により活性層への電流注入分布を制御している。第1の窒化物系半導体層214および第2の窒化物系半導体層221の詳細は図2に示すとおりであり、バンドギャップエネルギーの分布は実施の形態1と同様である。第1の窒化物系半導体層214は、GaN基板側から、n-GaN光ガイド層およびn-InGaNAsP単一量子井戸によって構成され、第2の窒化物系半導体層221は、GaN基板側から、p-GaN光ガイド層およびp-InGaNAsP単一量子井戸によって構成される。第1の窒化物系半導体層214および第2の窒化物系半導体層221の実質的なバンドギャップは活性層とほぼ等しい程度に小さく、光ガイド層による活性層からの発光の効率的な閉じ込めによって、吸収が起こりやすくなっている。第1の窒化物系半導体層214と第2の窒化物系半導体層221とは活性層に対して対称な位置に配置されている。

【0058】本実施の形態における半導体レーザ装置は、実施の形態1とほぼ同様にして製造される。得られた半導体レーザを評価した結果は以下のとおりである。直流電流を通電したところ閾値32mAでレーザ発振を開始した。スペクトルアナライザーで発振波長を観測したところ $405\text{nm}\pm10\text{nm}$ であった。次に光ディスク用光源に用いた際の戻り光に対する雑音特性を調べた。連続発振しているレーザは戻り光との干渉により出力が不安定になることが知られており低雑音特性を有するためにには特定の周期で自励発振をしているとよい。まず光出力を5mWにし、戻り光0.1%~10%の時の雑音を調べたところ $-130\text{dB}/\text{Hz}$ 以下であることが分かった。次に低出力での雑音特性を調べるために光出力を1mW程度にしたところ同様に $-127\text{dB}/\text{Hz}$ 以下であり、低消費電力光ディスクシステムの応用に適していることがわかった。

【0059】またNFPを調べたところ、ビームパターンが良好であり、レンズで集光したときの縦横比が実施の形態1に対して改善された。これは、光ディスクシステムに応用する際の光学系の部品数削減につながりコストダウンにつながる。これは活性層の上下に窒化物系半

(9)

15

導体層を対称に備えることで半導体レーザ内の光分布が対称になったためである。以上示すように、InGaNAsPを構成元素とした複数の窒化物系半導体層を、活性層を中心として対称な位置に配置する事で、低出力から自励発振するビームパターンの優れた半導体レーザ装置を提供できる。

【0060】上記構造はさらに、実施の形態2と同様、可飽和吸収のための層を覆う保護層を有してもよい。保護層を用いることで歩留まりが向上した。また本実施の形態では電流狭窄を行なうため電流ストライプ構造を用いているが、リッジ構造でもよい。

【0061】実施の形態6

図8は本実施の形態における半導体レーザ装置を示す模式図である。図8において、GaN基板301の裏面にはn電極300が設けられ、GaN基板301の表面には、n-GaNバッファ層302、n-AlGaNクラッド層303、n-GaNガイド層304、GaNAs活性層305、AlGaN蒸発防止層308、p-GaNガイド層307、p-AlGaNクラッド層308、n-AlGaNプロック層309、窒化物系半導体層310、p-GaNコンタクト層311、およびp電極312が形成されている。p層内に配置されたn-ブロック層により活性層へ注入される電流は狭窄されている。窒化物系半導体層310の構成は、図2に示すとおりであり、GaN基板側から、p-GaN光ガイド層24およびp-GaNAs単一量子井戸25によって窒化物系半導体層310は構成される。窒化物系半導体層310の実質的なバンドギャップは活性層とほぼ等しい程度に小さく、光ガイド層24による活性層からの発光の効率的な閉じ込めによって、吸収が起こりやすくなっている。

【0062】本実施の形態における半導体レーザ装置の製造方法は実施の形態1とほぼ同様である。製作された半導体レーザを評価した結果は以下のとおりである。直流電流を通電したところ閾値25mAでレーザ発振を開始した。スペクトルアナライザーで発振波長を観測したところ $405\text{nm} \pm 10\text{nm}$ であった。次に光ディスク用光源に用いた際の戻り光に対する雑音特性を調べた。連続発振しているレーザは戻り光との干渉により出力が不安定になることが知られており低雑音特性を有するために特定の周期で自励発振をしているとい。まず光出力を5mWにし、戻り光0.1%~10%の時の雑音を調べたところ-132dB/Hz以下であることが分かった。次に低出力での雑音特性を調べるために光出力を1mW程度にしたところ同様に-128dB/Hz以下であり、低消費電力光ディスクシステムの応用に適していることがわかった。

【0063】窒化物系半導体層の位置、構造、数を検討したところ、実施の形態1~4と同様に光ガイド層を持つない単一量子井戸、光ガイド層を持つ多重量子井戸、

16

光ガイド層を持たない多重量子井戸、光ガイド層を持つ歪み多重量子井戸、光ガイド層を持たない歪み多重量子井戸でもほぼ同様な効果がある。また可飽和吸収のための層の位置は、p-クラッド層内、n-ブロック層とp-クラッド層の境界、p-またはn-ガイド層内、n-クラッド層内であってもよい。その数は、実施の形態4と同様に2個であってもよく、同様の構造によって低出力から自励発振を伴う窒化物半導体レーザ装置が得られた。また、実施の形態2と同様に窒化物系半導体層を覆う保護層があってもよく、保護層を用いることで歩留まりが向上した。

【0064】実施の形態7

次に実施の形態1~8によって得られた半導体レーザ素子を実際に光ディスク用光源に用いたときの特性を評価した。図9は、本実施の形態の光学式情報再生装置を示す図である。装置は、基台1001上に設置された半導体レーザ素子1002、コリメータレンズ1003、ビームスプリッタ1004、対物レンズ1005、反射光を集光するためのレンズ1007、および集光された光を検出する光検出器1008からなっている。この光学式情報再生装置において、半導体レーザ素子1002から出射したレーザ光は、コリメータレンズ1003で平行光もしくは平行に近い光に変換され、ビームスプリッタ1004を透過して、対物レンズ1005により光ディスク1006の情報記録面に集光される。光ディスク1006の情報記録面には、凹凸、磁気変調または屈折率変調によりピット情報が書き込まれている。集光されたレーザ光は、そこで反射され、対物レンズ1005を通してビームスプリッタ1004によって分岐され、反射光を集光するためのレンズ1007によって光検出器1008に集光される。光検出器1008で光学的に検出された信号を電気的信号に変換して記録情報の読み取りが行われる。

【0065】実施の形態1の本発明によるレーザ素子を用いた光学式情報再生装置では、対物レンズ1005により光ディスク1006の情報記録面に高解像度で集光され、その結果、 $5\text{M}/\text{mm}^2$ の高密度で記録された光ディスクから、ピット誤り率 10^{-6} で書き込まれた情報を読み出すことができた。一方、実施の形態1の比較例として示した窒化物系半導体層にInGaNを用いた従来の半導体レーザ素子を図9の半導体レーザ素子1002として用いたところ、同様の条件下で、ピット誤り率 10^{-3} であり、実用に適さなかった。このように本発明による半導体レーザ素子を用いた光学式情報再生装置によれば、低雑音での情報の読み取りが可能になり、高密度に記録された光ディスクから低い誤り率で情報を読み出すことができる。

【0066】実施の形態1の代わりに実施の形態2、3、4、5または6の半導体レーザ素子を上記光学式情報再生装置に用いたところ、いずれの場合においても、

(10)

17

上述の条件下で、ビット誤り率 $10^{-5} \sim 10^{-7}$ が達成され、低雑音レベルでの情報の読み取りが可能となることが確認された。

【0067】以上示すように窒化物系半導体層に微量の As および/または P を混合する事で良好な閾値特性および自励特性が得られるが、Sb を混ぜることでも同様の効果が得られる。可飽和吸収のための窒化物系半導体層における Sb の添加量は 1 ~ 5 原子%程度がよい。

【0068】

【発明の効果】以上示すとおり、本発明によれば、As、P および Sb からなる群より選ばれる少なくとも一種の元素を含む窒化ガリウム系半導体層を可飽和吸収機能のため使用することにより、低出力で自励発振できる半導体レーザ素子を得ることができる。本発明による半導体レーザ素子は、従来より少ない消費電力で作動させることができ、また、従来よりも長い寿命を有し得る。本発明による素子は、特に光ディスク用光源に適している。本発明による素子を用いた情報再生装置では、雑音を低く抑えて情報の読み取りが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明による実施の形態1の半導体レーザ装置を示す模式図である。

【図2】 可飽和吸収のための窒化物系半導体層の構成を示す図である。

【図3】 可飽和吸収のための窒化物系半導体層のもう一つの構成を示す図である。

【図4】 可飽和吸収のための窒化物系半導体層の他の構成を示す図である。

【図5】 本発明による実施の形態2の半導体レーザ装置を示す模式図である。

【図6】 本発明による実施の形態4の半導体レーザ装置を示す模式図である。

【図7】 本発明による実施の形態5の半導体レーザ装置を示す模式図である。

【図8】 本発明による実施の形態6の半導体レーザ装置を示す模式図である。

【図9】 本発明による実施の形態7の光学式情報再生装置を示す模式図である。

【図10】 GaN基板を製造するための工程を示す模

18

式図である。

【図11】 従来の半導体レーザを示す模式図である。

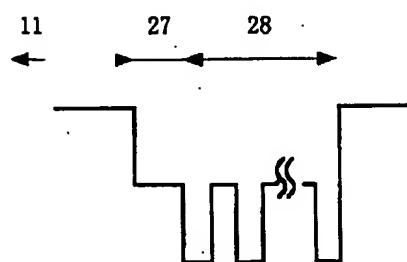
【図12】 従来のもう一つの半導体レーザを示す模式図である。

【図13】 半導体レーザ素子における InGaNAs 層の As 混入量と自励発振特性との関係を示す図である。

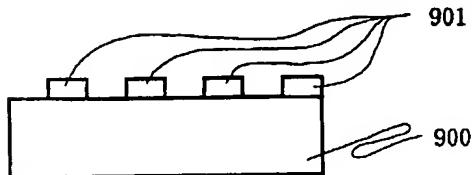
【符号の説明】

10 10 n 電極、11 GaN基板、12 n-GaNバッファ層、13 n-AlGaNクラッド層、14 n-GaNガイド層、15 GaNAs活性層、16 AlGaN蒸発防止層、17 p-GaNガイド層、18 p-AlGaNクラッド層、19 窒化物系半導体層、20 p-AlGaNクラッド層、21 p-GaNコンタクト層、22 絶縁膜、23 p電極、24 光ガイド層、25 p-GaNAs 単一量子井戸、26 p-GaNAs 単一量子井戸、27 光ガイド層、28 多重量子井戸、29 保護層、59 n 電極、60 n型SiC基板、61 n-AlIN層、62 n-AlGaNクラッド層、63 n-AlGaNガイド層、64 InGaN活性層、85 p-AlGaNガイド層、66 p-AlGaNクラッド層、67 p-AlGaNコンタクト層、88 InGaN可飽和吸収層、69 p電極、70 サファイア基板、71 n-GaNバッファー層、72 n-GaNコンタクト層、73 n-AlGaNクラッド層、74 n-InGaN/GaN多重量子井戸隣接層、75 InGaN/GaN多重量子井戸、76 p-GaN隣接層、77 p-AlGaN層、78 p-GaNコンタクト層、79 n-AlGaN通電防止層、80 p電極、81 n電極、82 Inドット領域、300 n電極、301 GaN基板、302 n-GaNバッファ層、303 n-AlGaNクラッド層、304 n-GaNガイド層、305 GaNAs活性層、306 AlGaN蒸発防止層、307 p-GaNガイド層、308 p-AlGaNクラッド層、309 n-AlGaNブロック層、310 窒化物系半導体層、311 p-GaNコンタクト層、312 p電極、900 サファイア基板、901 SiO₂膜。

【図4】

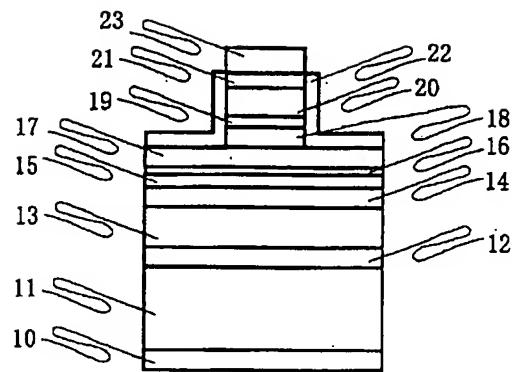


【図10】

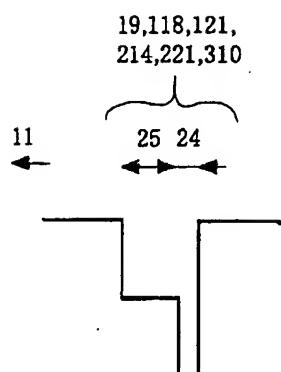


(11)

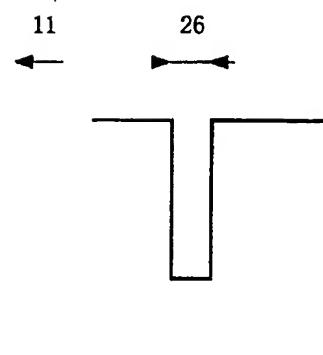
【図1】



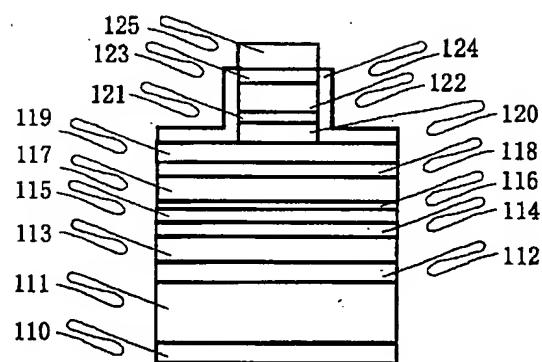
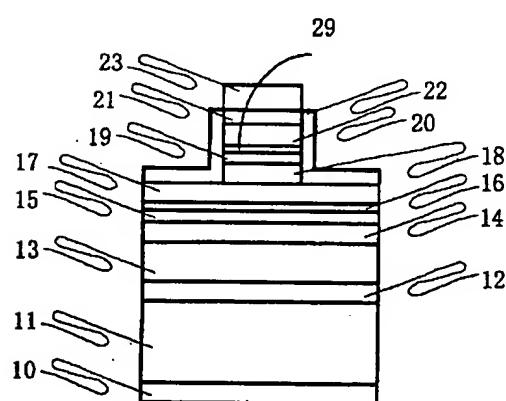
【図2】



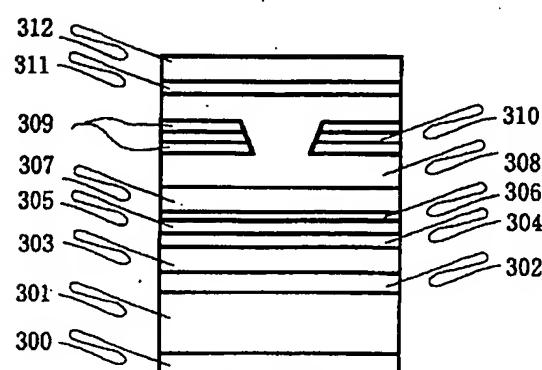
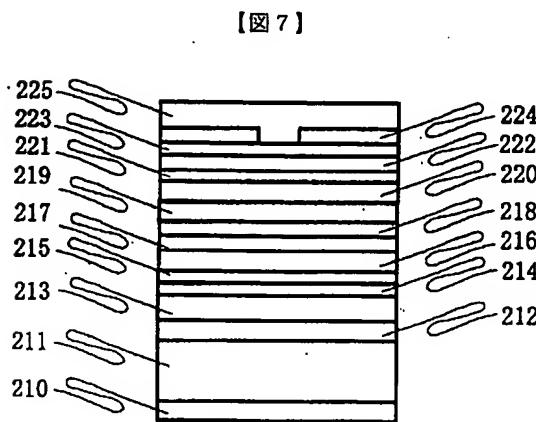
【図3】



【図5】

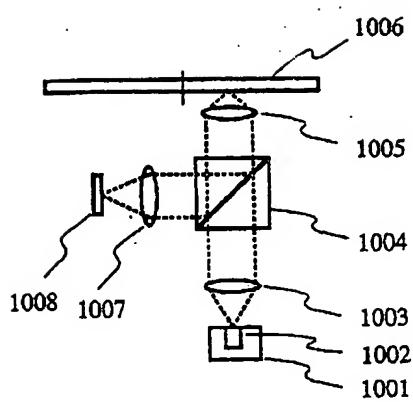


【図8】

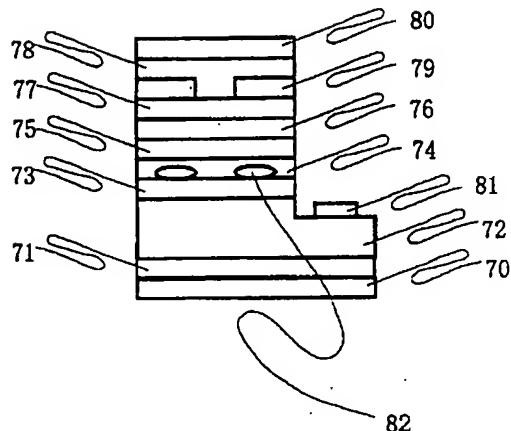


(12)

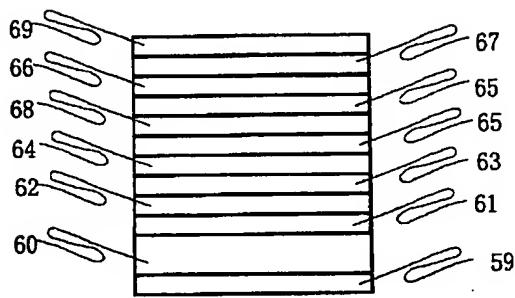
【図9】



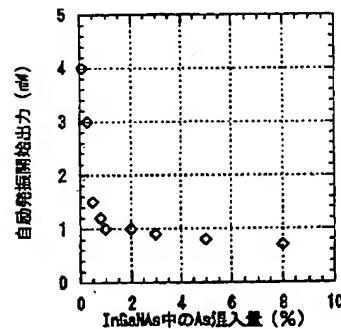
【図11】



【図12】



【図13】



フロントページの続き

F ターム(参考) 5F073 AA09 AA11 AA13 AA45 AA51
 AA73 AA74 AA83 CA07 CB02
 CB07 CB10 CB19 DA05 DA35
 EA26